

Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Geological Engineering Journal

Cilt 29

Sayı 2 - 2005

Volume

Number

Araştırma Makaleleri / Research Articles

- 1- **Zübeyde HATİPOĞLU, Serdar BAYARI**
Hidrolik İletkenlik ve Etkin Gözeneklilik Dağılımının Jeostatistiksel Kestirimi: Mersin-Tarsus Kıyı ve Yamaç Akiferleri Örneği
Geostatistical Estimation of Hydraulic Conductivity and Effective Porosity Distribution: A Case Study of Mesin-Tarsus Coastal and Hillside Aquifers
- 10- **Nihat DİPOVA**
Antalya Falezlerinde Gözlenen Stabilite Problemleri
Stability Problems Observed in Antalya Tufa Sea Cliffs
- 26- **Saliha SARAÇ, Ali VAN**
Çambaşı (Ordu) ve Dereli (Giresun) Yörelerindeki Skarn Yataklarının Karşılaştırmalı Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri: Doğu Pontid Kuzey Zonu (KD Türkiye)
Comparative Mineralogical and Chemical of Çambaşı (Ordu) and Dereli (Giresun) Areas Skarn Deposits: Northern Zones of Eastern Blacksea (NE Turkey)
- 44- **Levent AKDUMAN, Yasemin LEVENTELİ, Özgür YILMAZER, İlyas YILMAZER,**
Seldağınaklık-Sekileştirme-Enerji Sistemi: Başkale-Van
Artificial Dyke-Terrace-Energy System: Başkale-Van
- 53- **Nihat DİPOVA, Mustafa YILDIRIM,**
Antalya Tufa Platolarının Oluşumu ve Jeomorfolojik Özellikleri
Origin and Geomorphological Properties of Antalya Tufa Plateaus

Hidrolik İletkenlik ve Etkin Gözeneklilik Dağılımının Jeostatistiksel Kestirimi: Mersin-Tarsus Kıyı ve Yamaç Akiferleri Örneği

*Geostatistical Estimation of Hydraulic Conductivity and Effective Porosity Distribution:
A Case Study of Mersin-Tarsus Coastal and Hillside Aquifers*

*Zübeyde HATİPOĞLU, **Serdar BAYARI

*Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy, 33342 Mersin
(e-posta: zubeyde@mersin.edu.tr)

**Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06532 Ankara
(E-posta: serdar@hacettepe.edu.tr)

ÖZ

Bir akiferde hidrolik iletkenlik ve etkin gözeneklilik dağılımının güvenilir biçimde belirlenmesi yeraltısuyu sondajlarının yüksek verimliliğe sahip nokta ve derinliklerde açılması açısından önemlidir. Çalışma kapsamında, delta-kıyı ovası karışımından oluşan bir çökel ortamını yansıtan Mersin-Tarsus kıyı ve yamaç akiferlerinde hidrolik iletkenlik ve etkin gözeneklilik dağılımı üç boyutlu kriging yöntemi ile tahmin edilmiştir. Kestirilen ve gözlenen değerler arasında elde edilen yüksek derecedeki uyum, oluşturulan jeohidrolojik parametre dağılım modelinin sondaj yeri ve derinliği seçiminde güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Yüksek hidrolik iletkenlik ve efektif gözeneklilik değerlerinin akarsu yatakları dolayında, düşük değerleri ise akarsulardan uzak taşkın alanlarında belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: hidrolik iletkenlik, jeostatistik, kriging, Mersin, porozite

ABSTRACT

Reliable estimation of three dimensional hydraulic conductivity and effective porosity in an aquifer is particularly important to determine the site and depth of groundwater production wells. Three dimensional distribution of hydraulic conductivity and effective porosity in Mersin-Tarsus hillside and coastal aquifers that characterize delta-flood plain sedimentary system, was estimated by means of block kriging method. Validity of models in selecting appropriate drilling sites was demonstrated by the high correlation obtained between observed and calculated values. High and low values of hydraulic conductivity and effective porosity are observed in close proximity of streams and distal fields, respectively.

Key words: hydraulic conductivity, geostatistics, , kriging, Mersin, porosity

GİRİŞ

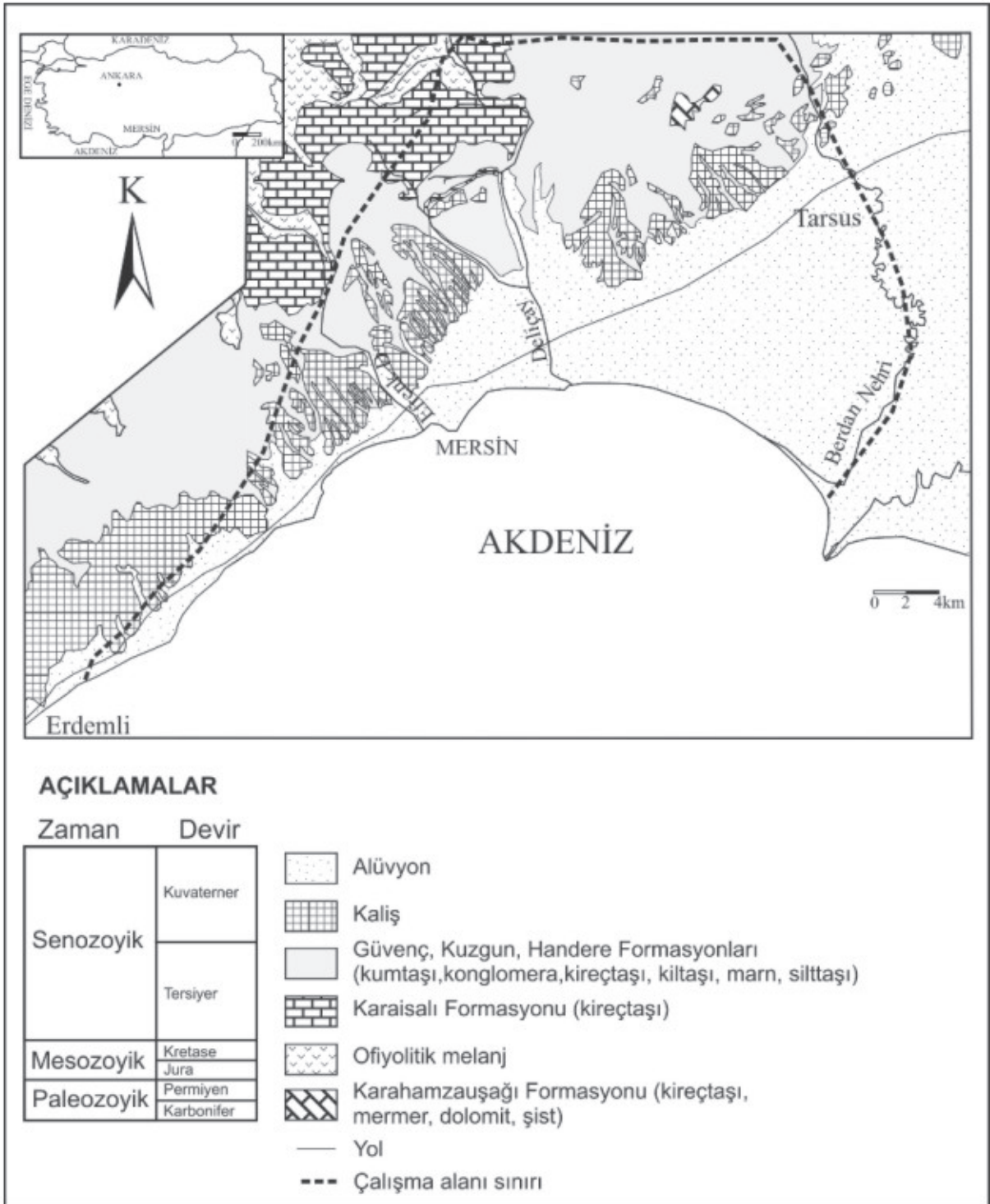
Yeraltısuyu üretimi açısından önem taşıyan hidrolik iletkenlik (K_h), etkin gözeneklilik (n_e), depolama katsayısı ve iletkenlik gibi jeohidrolojik parametrelerin akifer içindeki dağılımı genellikle oldukça değişkendir. Diğer yandan, bu parametrelerin üç boyutlu dağılımın bilinmesi gerek verimli sondaj konum ve derinliklerinin belirlenmesi ve gerekse güvenilir yeraltısuyu akım modellerinin oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır. Delta ve kıyı-taşkın ovası gibi karmaşık çökel ortamlarında oldukça heterojen bir dağılım gösteren söz konusu parametrelerin mekansal dağılımının güvenilir biçimde belirlenmesi ise oldukça güçtür. Bu amaçla elektrik, elektromanyetik ve sismik vb. tekniklere dayalı jeofizik yöntemlerden yararlanılması mümkün olmakla birlikte, özellikle geniş alanlarda anılan yöntemlerin uygulanması oldukça maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Buna karşılık, ortamı tanımlamak üzere yeterli miktarda verinin mevcut olması durumunda, bu verilerden itibaren jeostatistik teknikleri kullanılarak jeohidrolojik parametrelerin üç boyutlu dağılımı hızlı, ucuz ve güvenilir biçimde belirlenebilmektedir.

Konumun birer fonksiyonu olan jeohidrolojik parametrelerin mekansal dağılımı oldukça değişken olmakla birlikte tamamen rastlantısal değildir. Genellikle, farklı noktalarda yapılan ölçümlerden, birbirine yakın mesafede olanların değerleri birbirine yakındır (Marsily, 1986). Bu tür parametrelerin değişimi belli bir bölgeye ait olmaları ve konuma bağlı olarak ifade edilmeleri nedeniyle bölgesel değişkenler olarak tanımlanabilmektedir. Bir

değişkenin bilinmeyen noktalardaki değerinin hesaplanması, değeri bilinen noktalar yardımıyla yapılır ve bu işlem kestirim olarak tanımlanır (Tercan, 1996).

Bu çalışma kapsamında Mersin-Tarsus bölgesinde açılmış bulunan derin yeraltısuyu üretim kuyularına ait veriler kullanılarak hidrolik iletkenlik (K_h) ve etkin gözeneklilik (n_e) değerlerinin üç boyutlu dağılımı kestirilmiştir. Bölgede uzun yıllar boyunca çeşitli kurumlar ve şahıslar tarafından açılan pek çok kuyu bulunmaktadır. Ancak bu kuyuların genellikle K_h ve n_e ölçümleri yapılmamıştır. Bu nedenle K_h ve n_e kestirimlerinde girdi verisi olarak mevcut kuyu litoloji loglarında tanımlanan birimlerin literatürde belirtilen K_h ve n_e değerleri kullanılmıştır. Üretilen K_h ve n_e veri setleri ile GSLIB (Deutsch ve Journal, 1998) yazılımı kullanılarak jeostatistik modeller oluşturulmuştur. Bu modellerin parametreleri ile üç boyutlu kriging kestirimleri yapılmıştır.

Çalışma alanı Mersin il sınırları içinde, Elvanlı-Tarsus yerleşimleri arasında $34^{\circ}20'$ ile $34^{\circ}57'$ boylam ve $36^{\circ}38'$ ile $37^{\circ}00'$ enlemleri arasında uzanan yaklaşık 750 km^2 lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). İnceleme alanı Toroslar ile Akdeniz arasında geniş bir kıyı-yamaç akiferi oluşturmaktadır. Toroslar ile deniz arasında kıyı düzlüğü batıdan doğuya doğru genişlemektedir. Delta-taşkın ovası karakterindeki bir çökel ortamını yansıtan bu alanda halen kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı 7 akarsu bulunmakta olup, kıyı akiferi bu akarsular ve bunların öncülleri tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 1. İnceleme alanı ve jeolojisi haritası (Şenol vd., 1998'den değiştirilerek alınmıştır).
Figure 1. Location and geology map of the study area (Modified from Senol et. al, 1998).

JEOLOJİ ve HİDROJEOLOJİ

Bu çalışmada kullanılan jeolojik birimlere ait bilgiler Şenol vd. (1998)' den derlenmiştir. Mersin-Tarsus Kıyı akifer sistemi ile bu akifer sisteminin drenaj alanında yer alan jeolojik birimler, Toros Dağ Oluşum Kuşağının, Ecemiş Fayı güneydoğu kesiminde yer alır ve bu kuşağın jeolojik özelliklerini taşır. Temelde Paleozoyik yaşlı metamorfiklerden oluşan Karahamzauşağı Formasyonu bulunur. Üst Kretase döneminde bölgeye yerleşen ofiyolitik melanaj bölgenin kuzeybatı kesiminde yüzeylenmektedir. Bunlar üzerine Oligosen-Miyosen-Pliyosen döneminde karasal, geçiş ve denizel ortam çökellerinin oluşturduğu Karaisalı, Güvenç, Kuzgun ve Handere Formasyonları yer alır. Çalışma alanının güney kesiminde Kuvaterner yaşlı karasal ve geçiş ortamı çökelleri ile morfolojik birimler yaygındır. Bunlardan geçiş ortamını temsil eden Kuvaterner yaşlı delta çökelleri en geniş yüzey alanına sahip birimdir (Şekil 1).

İnceleme alanı hidrojeolojik açıdan iki bölüme ayrılmaktadır. Bunlar; kuzey kesimde genel olarak güneydoğuya eğimli sedimanter kayaçların bulunduğu Yamaç akiferi ve güneyde yüzey alanı doğudan batıya azalan alüvyon malzemenin oluşturduğu Kıyı akiferidir (Hatipoğlu, 2004). Yamaç akiferinin bulunduğu kesimde litoloji genel olarak sedimanter kayaçların araldanmasından oluşmaktadır. Bölge tek tür kaya tipinin hakimiyetinden çok kumtaşı, kireçtaşı, konglomera, silt, marn ve kiltası araldanmasından oluşmaktadır. Bu nedenle Yamaç akiferinin bulunduğu alanlar genel olarak yeraltısuyu açısından düşük verimli yerel akiferlerden oluşmaktadır. Yüksek verimli Kıyı akiferi ise bir delta-kıyı ovası ortamınca temsil edilmektedir. Bu ortam, akarsularca taşınan çökellerin düşük enerjili kıyı-delta ortamında depolanması ile oluşturulmuştur. Taşınan malzemenin miktarı, boyutları ve taşınabildiği mesafe iklim, akarsu rejimi, yapısal davranış ve

kıyı işlevleri ile yakından ilgili olduğundan delta ortamları genellikle heterojenite ve çökel birimleri arasındaki karmaşık yapı ile tipiktirler (Reineck ve Singh, 1973).

TEORİ

Variogram Fonksiyonu

Bölgesel değişkenin (örn: Kh, n_c) değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri jeostatistikte variogram fonksiyonu ile tanımlanır. Variogram fonksiyonu varyansın uzaklığa bağlı değişimini gösteren bir fonksiyondur ve aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır (Tercan ve Saraç, 1998):

$$2\gamma(h) = \text{Var}(Z_i - Z_{i+h}) = \frac{1}{n(h)} \sum (z_i - z_{i+h})^2$$

2γ(h): variogram fonksiyonu,

Z: incelenen değişken

n(h): h uzaklığındaki veri çifti sayısı

h: uzaklık,

Z_i: değişkenin aldığı değerleri

Variogramın orijine yakın davranışı bölgesel değişkenin sürekliliği ile ilgili bilgi verir. Parabolik şekil düzenli değişen bir özelliği, doğrusal şekil bölgesel değişkenin sürekli artması veya azalmasını gösterirken, orijindeki süresizlik ise ölçüm hataları veya küçük ölçekli değişimleri belirler. Örneklem noktaları arasında birbirine en yakın iki örneğin uzaklığı, değişimin belirlenebileceği en küçük uzaklıktır. Bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi belirlenemez. Bu durum variogramın orijinde sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına neden olur. Variogramda bu durum külçe etkisi olarak tanımlanır (Tercan ve Saraç, 1998). Bölgesel değişkenin belirli uzaklıklar için belirlenen deneysel variogramına bir fonksiyon uyarlanarak bütün uzaklıklar için variogram belirlenir.

Kriging Kestirimi

Kriging bölgesel değişkenin, örneklenemeyen noktalarda büyüklüğünün belirlenmesi için varolan verilerin ağırlıklı ortalamasının kullanıldığı bir yöntemdir. Ağırlıklar yansızlık ve en küçük varyans kriterleri sağlanarak oluşturulan doğrusal denklem sisteminin çözümü ile bulunur (Tercan ve Saraç, 1998).

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i)$$

$z^*(x_0)$: x_0

$z(x_i)$: x_i noktasında kestirilen değer

λ_i : kestirimde kullanılan veriler

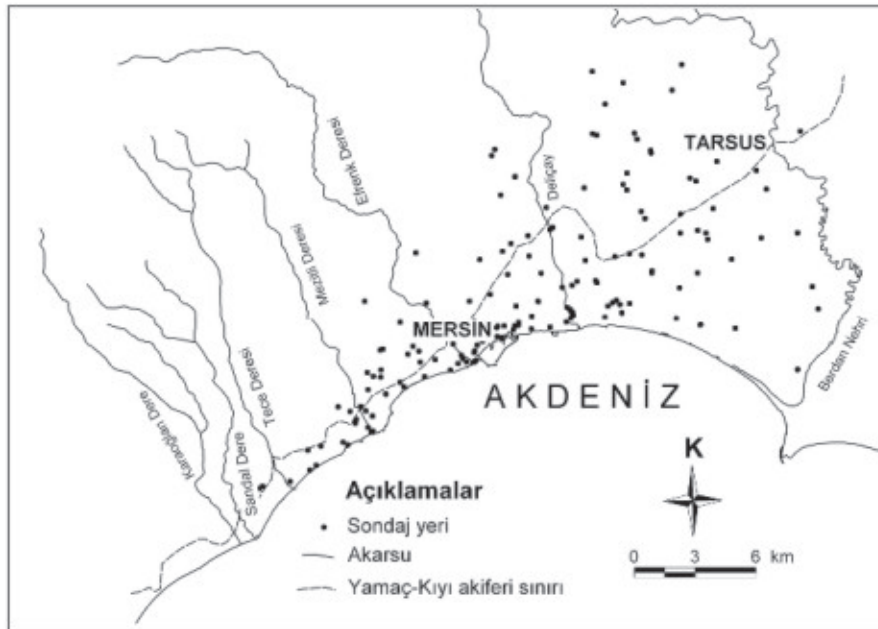
Kestirimde kullanılacak verilere atanacak değerler

Blok kriging kestiriminde ise bölgesel değişkenin tek bir noktadaki değeri değil, belirli bir hacim için ortalama değeri hesaplanmaktadır (Ouyang, vd., 2003).

VERİ KAYNAKLARI VE KALİTESİ

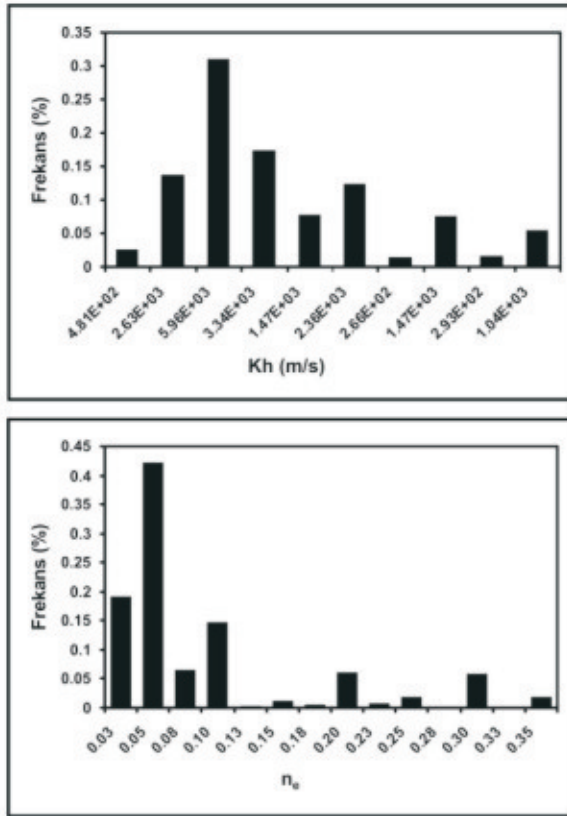
Mersin-Tarsus Kıyı akiferinin K_h ve n_e dağılımının belirlenmesinde 194 adet sondaj logu kullanılmıştır (Şekil 2). Sondajların yayıldığı alan yaklaşık 750 km² ve en derin sondaj 299 m'dir. Sondajlar 1957-1997 yılları arasında farklı kurum ve kişiler tarafından açılmış, sondaj sırasında geçilen birime ait tanım ve özellikler sondajı açan kişi tarafından nitel olarak belirlenmiş ve sondaj loguna işlenmiştir. Çalışma kapsamında sondajlara ait litoloji logları 1 m'lik parçalara bölünmüş ve her bir aralığa ait litolojik birim için literatürden belirlenen K_h ve n_e değerleri atanmıştır. Oluşturulan veri setine, ilgili noktaya ait x, y, z değerleri eklenmiştir. Çeşitli birimler için atfedilen K_h ve n_e değerleri sırasıyla Çizelge 1'de verilmiştir.

Elde edilen K_h ve n_e verilerine ait histogramlar sola çarpık bir dağılım göstermektedir (Şekil 3). K_h verilerinin varyansı $4.6 \cdot 10^{-5}$, ortalaması $1.7 \cdot 10^{-3}$; n_e verilerinin varyansı 0.0073 ve ortalaması 0.08 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Sondaj noktaları haritası.

Figure 2. Map of the drillholes



Şekil 3. Kh ve ne verilerine ait histogramlar.
Figure 3. Histograms of Kh and ne data.

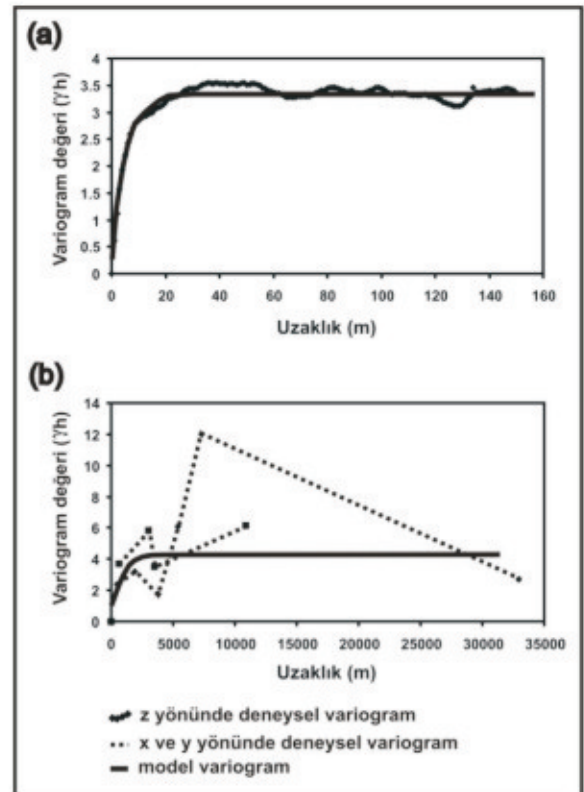
Çizelge 1. Veri setinde kullanılan bazı birimlere ait Kh ve ne değerleri.

Table 1. Kh and ne values for some units using in data set

Birim	Kh Literatür Değeri* (m/s)	Kullanılan Kh Değeri (m/s)	ne Literatür Değeri**	Kullanılan ne Değeri
Çakıl	$3 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	0.15-0.37	0.3
Kum	$9 \cdot 10^{-7}$ - $6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0.08-0.40	0.35
Silt	$1 \cdot 10^{-9}$ - $2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0.004-0.05	0.04
Kil	$1 \cdot 10^{-11}$ - $2 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	0.007-0.05	0.03

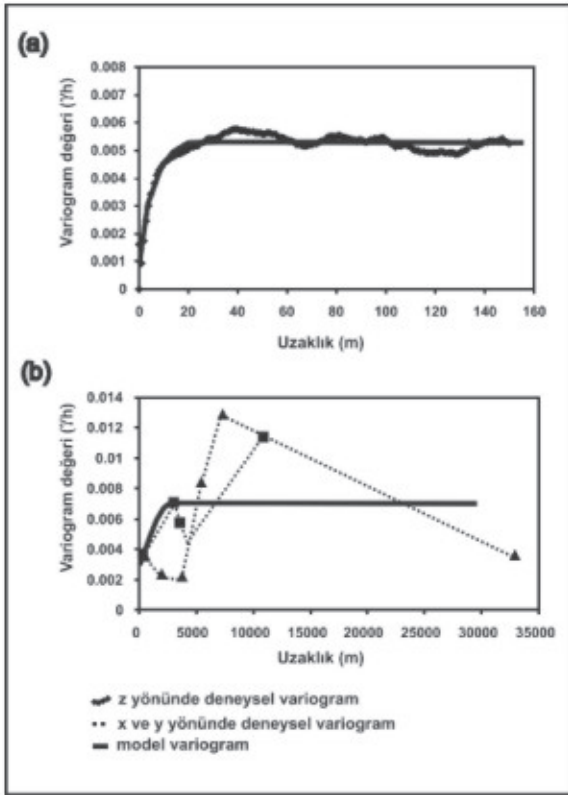
DENEYSEL VARIOGRAM VE VARIOGRAM MODELİ

Kh ve ne veri seti ile x, y, z yönlerinde deneysel variogramlar hesaplanmıştır. Kh değerinin çok geniş bir değer aralığına yayılması nedeniyle logaritmik dönüşüm yapılmıştır. Variogramın hesaplanması ve kriging kestirimi aşamalarında dönüştürülmüş değerler kullanılmış ve kestirilen bu değerlere geri dönüşüm uygulanmıştır. Kh ve ne için düşey yönde hesaplanan variogramlar 20 m civarında bir yapısal uzaklığa sahiptir (Şekil 4a ve 5a). Yatay yöndeki Kh için yapısal uzaklık 3500m, ne için ise 2500m civarındadır (Şekil 4b ve 5b). Kh ve ne için oluşturulan variogram modeli üç boyutlu anizotropik bir küresel modeldir. Kh ve ne model parametreleri sırasıyla Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 4. Kh için deneysel ve model variogramlar: a) Düşey yönde, b) Yatay yönde

Figure 4. The experimental variograms and variogram models for Kh. a) Vertical direction b) Horizontal direction



Şekil 5. n_e için deneysel ve model variogramlar: a) Düşey yönde, b) Yatay yönde

Figure 5. The experimental variograms and variogram models for n_e . a) Vertical direction b) Horizontal direction

Çizelge 2. K_h ve n_e için variogram model parametreleri.

Table 2. Model variogram parameters for K_h and n_e .

Parametre	K_h		n_e	
	Düşey	Yatay	Düşey	Yatay
C	3.25	3.25	0.004	0.004
C_0	1	1	0.003	0.003
a	20	3500	20	2500

Çapraz Doğrulama

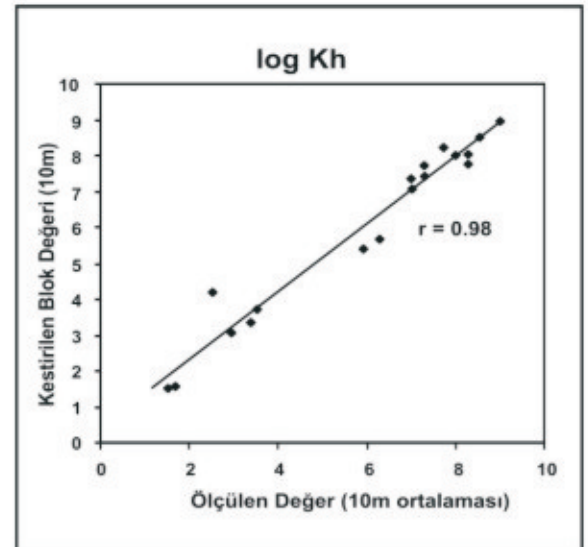
Veri seti ile oluşturulan variogram model parametrelerinin doğruluğunun (geçerliliğinin) belirlenmesi için çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde veri seti ile modelin uyumu kontrol edilmektedir (ASTM 1996; Ouyang vd., 2003). Bu amaçla, her örnek veri setinden uzaklaştırılarak kriging ile kestirim

yapılmakta, iyi bir uyum için gerçek değerler ve kestirilen değerler arasındaki farkların sıfır ortalamaya ve minimum varyanslı simetrik bir yapıya sahip olması gerekmektedir (Tercan ve Saraç, 1998). Bu çalışma için K_h ve n_e kestirimlerinin çapraz doğrulama işlemine ilişkin sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca, 194 sondaj arasında rastgele seçilen 20 sondajın 0 ve -10m seviyeleri arasında $1 \times 1 \times 10$ m boyutundaki blokları için kestirilen değerleri ile bunlara karşılık gelen ölçülen değerler arasında da oldukça yüksek bir uyum bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 6 ve 7).

Çizelge 3. K_h ve n_e için çapraz doğrulama sonuçları

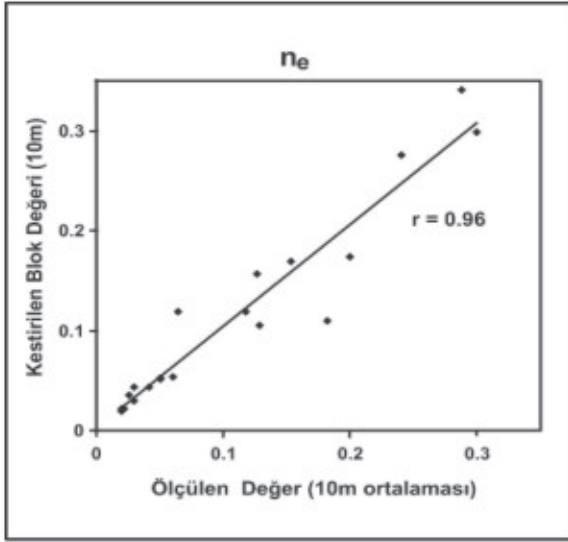
Table 3. Cross validation results for K_h and n_e

	K_h	n_e
Kestirim sayısı	19303	19303
Ort (z^*-z)	-0.0015	0.00005
Ort ($ z^*-z $)	0.597	0.024
Ort($(z^*-z)^2$)	1.009	0.0018
Ort(σ_k^2)	0.369	0.00084
Ort($[(z^*-z)/\sigma_k]$)	0.00086	0.0155
Ort($[(z^*-z)/\sigma_k]^2$)	0.330	2.0146
$\Sigma z^*-z $	11536	459.99



Şekil 6. K_h için ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki ilişki.

Figure 6. Relation between measured and estimated K_h values

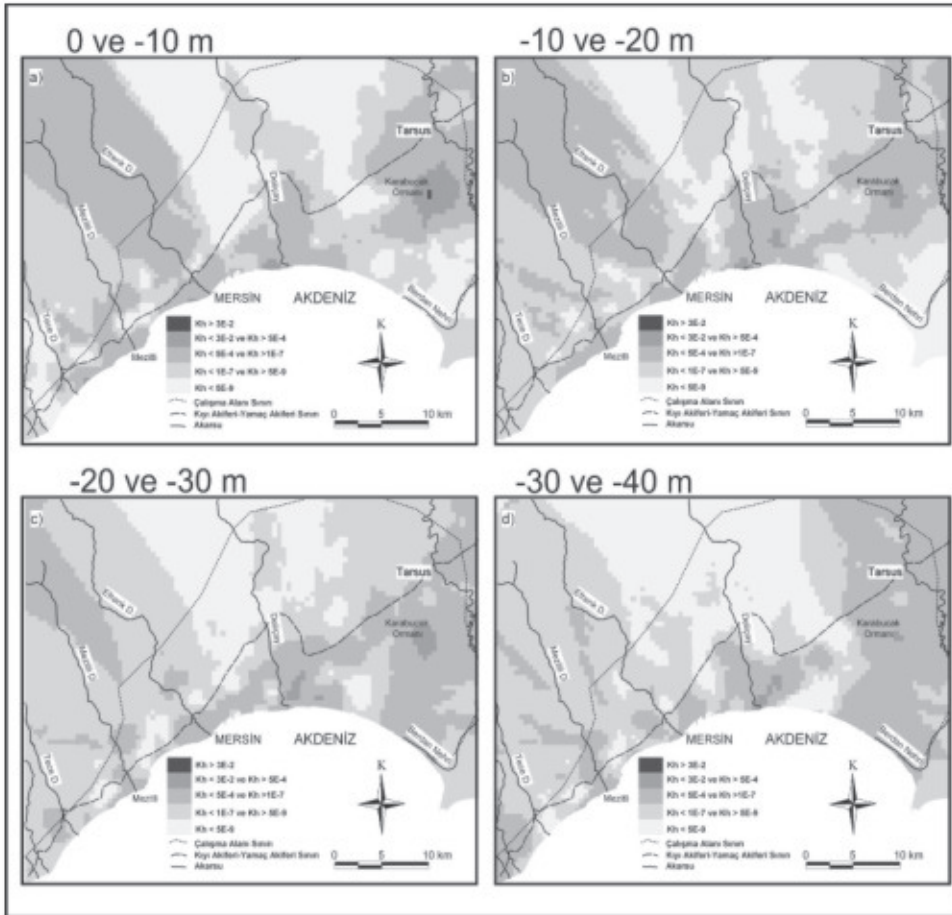


Şekil 7. n_e için ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki ilişki

Figure 7. Relation between measured and estimated n_e values.

ÜÇ BOYUTLU KRİGİNG ANALİZİ

Kh ve n_e dağılım modellerinin güvenilirliğinin belirlenmesinden sonra, bu parametrelerin inceleme alanındaki üç boyutlu dağılımı blok kriging yöntemi ile belirlenmiştir. Bu amaçla, inceleme alanı x ekseninde boyunca 500 metrelik 98, y ekseninde boyunca 500 metrelik 80 grid içeren ve z yönünde 0 ve -40 m derinlikleri arasında 10'ar metrelik 4 katmanın bulunduğu bloklara ayrılmıştır. Ön hesaplamalar sırasında, 1, 10, 25 ve 50 m kalınlıkları için yapılan kestirimlerden ölçülen değerlere en yakın olanların 10m'lik blok kalınlığı için elde edildiği belirlenmiştir. Bu kalınlık değeri aynı zamanda litoloji loglarında gözlenen ortalama birim kalınlığına karşılık gelmektedir. Kestirilen değerler MapInfo (1998) yazılımı ile coğrafi haritalara dönüştürülmüş olup, Kh ve n_e için oluşturulan haritalar birbirine benzer olduğundan Şekil 8'de sadece Kh haritası sunulmuştur.



Şekil 8. Kriging kestirimi ile farklı derinlikler için belirlenen Kh dağılımı: a) 0 ve -10 m, b) -10 ve -20 m, c) -20 ve -30 m, d) -30 ve -40 m. Figure 8. Kh distribution maps for different depths determined from kriging estimation. a) 0 ve -10 m, b) -10 ve -20 m, c) -20 ve -30 m, d) -30 ve -40 m.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yeraltısuyu verimliliğinin değerlendirilmesi açısından en önemli parametreler olan K_h ve n_e 'nin dağılımının belirlenmesi amacıyla jeostatistik yöntemler kullanılmıştır. Bölgede açılan kuyuların loglarından belirlenen litolojilere karşılık gelen K_h ve n_e değerleri ile x, y, z, Kh ve x, y, z, n_e veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setleri kullanılarak variogram analizi ve blok kriging yöntemleri ile kestirim yapılmıştır. Elde edilen kestirim sonuçları blok kriging yönteminin delta-kıyı ovası gibi karmaşık çökel ortamlarında da jeohidrolojik parametre kestiriminde başarılı sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Ayrıca bu çalışma sonuçları bölgeye ait yeraltısuyu akım modelinin oluşturulmasında kullanılabilir yapıdadır. Sonuçların alansal dağılımı incelendiğinde K_h ve n_e 'nin yüksek değer ve en geniş yayılım alanına sahip olduğu bölgenin Tarsus'un güney kesiminde, Karabucak Ormanı çevresindeki 0 ve -10m seviyeleri arasındaki alan olduğu anlaşılmaktadır. Bu bölgede alt katmanlarda gözlenen verimlilik üst seviyeye oranla azalmaktadır. Deliçay'ın kıyıya yakın kesimi, Mersin ve Mezitli çevresi 0 ve -40 m seviyeleri arasında yüksek K_h ve n_e değerlerine sahiptir. Mevcut kuyu verimleri açısından da bu bölgeler en verimli alanlardır. Tarsus'un batı ve kuzeybatısı ile Deliçay ve Efrenk Dereleri arasında K_h ve n_e en düşük değerleri almaktadır. Berdan Nehri'nin kıyıya yakın kesiminde 0 ve -20m arasındaki derinlik aralığı da yeraltısuyu üretimi açısından verimin düşük olduğu bir diğer bölgedir. Bu bölgede -20 ve -40m arasında K_h ve n_e değerleri üst katmanlara göre artış göstermektedir.

KATKIBELİRTME

Yazarlar bu çalışmanın yürütülmesindeki öneri ve katkılarından dolayı H.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünden Prof.Dr. Erhan Tercan, Araştırma Görevlileri Bülent Tütmez ve Elif Akcan'a teşekkür ederler. Çalışmaya Hacettepe Üniversitesi ve Mersin Üniversitesi Araştırma Fonlarınınca maddi destek sağlanmıştır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1996. Standard Guide for the Concepts of Geostatistical Site Investigation Report. D5549-94, Philadelphia, Pensilvania.
- Deutsch, C.V. ve Journal A.G., 1998. Geostatistical Software Library and Users Guide. Oxford University Press, New York, 369 s.
- Domenico P.A. ve Schwartz, F.W., 1997. Physical and Chemical Hydrogeology, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York, 640 s.
- Hatipoğlu, Z., 2004. Mersin-Tarsus kıyı akiferinin hidrojeokimyası. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Doktora Tezi, 142 s (yayınlanmamış).
- Marsily, G., 1986. Quantative Hydrogeology. Academic Press, London, 440 s.
- MapInfo Corporation, 1998. MapInfo Professional 5.5 software package, New York.
- Ouyang, Y., Higman, J., Campbell D. ve Davis, J., 2003. Three-dimensional kriging analysis of sediment mercury distribution: a case study. Journal of the American Water Resources Association, 39(3), 689-702.
- Reineck, H.E. ve Singh, I.B., 1973. Depositional Sedimentary Environments. Springer-Verlag, 439 s.
- Spitz, K. ve Moreno J., 1996. A Practical Guide To Groundwater And Solute Transport Modeling. John Wiley & Sons, 461 S.
- Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman T.Y., 1998, Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu. MTA, Ankara, 46 s. (yayınlanmamış).
- Tercan, 1996. Maden yatakları sınır belirsizliğinin "indicator kriging" ile değerlendirilmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür yatağında bir uygulama. Madencilik, Cilt: 35(4), 3-11.
- Tercan, A.E. ve Saraç, C., 1998. Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistik Yöntemler. TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 48 Ankara 137 s.